

(19) 日本国特許庁 (J.P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-229248

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月25日

(51) Int.Cl.⁴

H01S 3/18

識別記号

F I

H01S 3/18

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平10-24169

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月5日

(31) 優先権主張番号 037175

(32) 優先日 1997年2月7日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(31) 優先権主張番号 940867

(32) 優先日 1997年9月30日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 590000798

ゼロックス コーポレーション

XEROX CORPORATION

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14644

ロチェスター ゼロックス スクエア

(番地なし)

(72) 発明者 ロバート エル. ソーントン

アメリカ合衆国 94022 カリフォルニア

州 ロス アルトス イースト ボルトラ

アベニュー 19

(74) 代理人 弁理士 中島 淳 (外1名)

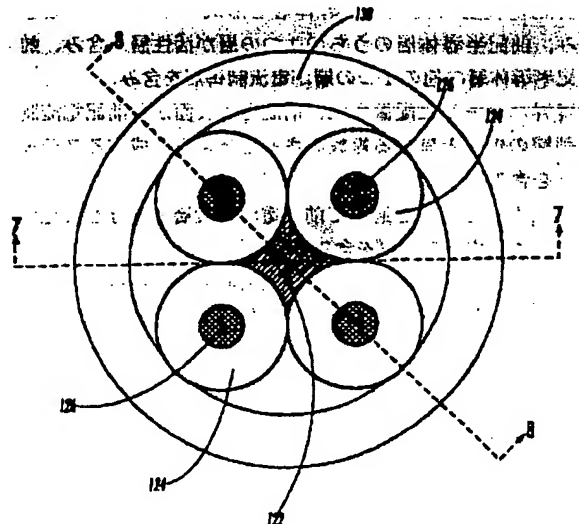
(54) 【発明の名称】 表面発光レーザ及びその製造方法

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

(57) 【要約】

【課題】 レーザ構造のレイジング開口を面定するために使用することができる。その酸化領域の面定及び制御が優れて行われた非常にコンパクトなVCSEL構造を提供する。

【解決手段】 レーザ構造の中に所定のパターンに配置された複数のキャビティ126を使用して酸化領域124を形成する。レイジング開口122は、これらのキャビティ126を中心とするこれらの酸化領域124によって囲まれた、酸化されていない領域である。酸化プロセスの間、半導体構造の中に埋め込まれたアルミニウム含量の高いAlGaAs層は、これらのキャビティ126の各々から外側に向けて放射方向へと、2つの隣接するキャビティ126の間の酸化領域124がオーバーラップするまで酸化される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 発光表面を有する表面発光レーザであって、前記レーザが、
基板を含み、
前記基板上に形成された複数の半導体層を含み、
前記半導体層のうちの1つが中に活性領域を有する活性層を含み、
前記活性層の一方の側に位置された第一リフレクタと、
前記活性層の反対側に位置された第二リフレクタとを含み、前記リフレクタの内の少なくとも1つを通して光エネルギーを一部透過させ、
前記半導体層のうちの1つが電流制御層であり、
前記電流制御層の中まで延びている複数のキャビティを含み、
前記電流制御層の中に前記活性層を通る電流を制御するアパーチャを有し、前記アパーチャ領域は前記電流制御層の中の非導電性領域によって囲まれた前記電流制御層の中の導電性領域によって画定されており、前記非導電性領域の各々は1つのキャビティを囲み、及び、
前記レーザの両側にそれぞれ第一及び第二の電極を含み、これらの電極が前記活性領域のバイアスを可能にする、
表面発光レーザ。

【請求項2】 前記電流制御層が酸化層であり、前記導電性領域が前記酸化層の酸化されていない部分であり、前記非導電性領域が前記酸化層の酸化された部分である、請求項1に記載の表面発光レーザ。

【請求項3】 発光表面を有する表面発光レーザの製造方法であって、

基板を形成するステップを含み、
前記基板上に複数の半導体層を形成するステップを含み、前記半導体層のうちの1つの層が活性層を含み、前記半導体層の他の1つの層が電流制御層を含み、境界パターンに配置され、前記発光表面から前記電流制御層の中へと延びる複数のキャビティを形成するステップを含み、
前記キャビティを通して前記電流制御層の部分を酸化環境にさらすステップを含み、
前記キャビティの周りの前記電流制御層の領域を酸化して、前記領域を広げて互いの領域を近づけ、これらの領域の間に中央非導電性領域を形成するステップを含み、及び、
前記レーザ装置の両側にそれぞれ第一及び第二の電極を形成するステップを含み、これらの電極により前記活性領域のバイアスを可能にする、
表面発光レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は一般に半導体レーザに関する。より詳細には、本発明により、非常にコンパ

クト且つ良好に画定された縦型キャビティ表面発光レーザを形成することができる。

【0002】

【従来の技術】 固体半導体レーザは、光電子通信システムや高速印刷システム等の用途において重要な装置である。現在はエッジ発光 (edge emitting) レーザがこれらの用途において大多数使用されているが、近年、縦型キャビティ表面発光レーザ (vertical cavity surface emitting laser, "VCSEL") に対する関心が高まってきた。VCSELに関心が高まった理由は、エッジ発光レーザはビームの開きが大きいので発射されたビームを集束させるのが難しいことである。更に、エッジ発光レーザはウェハが別々の装置 (そのエッジは各装置のミラーファセットを形成する) にへき開されるまでテストすることができない。一方、VCSELのビームはビームの開きが小さいだけでなく、VCSELはウェハの表面に垂直な光を発光する。更に、VCSELには設計上ミラーが一体化して組み込まれており、これらのミラーによってウェハのテスト及び1次元又は2次元レーザアレイの製造が可能となる。

【0003】 VCSELを製造する既知の技術は側面酸化プロセスによるものであり、図1及び図2に図示されている。この方法では、複数の層を含むレーザ構造体が基板10の上に形成される。これらの層は、活性層12及びアルミニウム含量の高いAlGaAs層14を含む。AlGaAs層14は、レーザ構造の活性層の上又は下のどちらかに配置される。次に、この層状構造はマスキングされ、選択的にエッチングされてメサ構造22 (図2に図示) が形成される。エッチングした結果、活性層12に隣接するアルミニウム含量の高いAlGaAs層14はメサ構造22のエッジにさらされる。レイジング放射領域即ち「アパーチャ」を形成するために、このAlGaAs層は矢印Aで表されたようにメサ構造の中心に向かってエッジから横方向に酸化される。この構造体の中の他の層は、アルミニウム含量がAlGaAs層より低いので、本質的には酸化されないまま残る。従って、これらの酸化率もまた実質的に低い。従って、アルミニウム含量の高いAlGaAs層のみが酸化される。高アルミニウム含有層の酸化された部分は、酸化処理の結果電気的に非導電性となる。AlGaAs層の中の残った酸化されていない領域 (導電性) はいわゆる「アパーチャ (開口)」を形成し、このアパーチャはレーザ構造の中の電流パスを定める領域であって、これにより、レーザ発光領域が決まる。このような技術により形成されたVCSELは、「電力交換効率が50%である選択的に酸化された縦型キャビティ表面発光レーザ (Selectively Oxidized Vertical Cavity Surface Emitting Lasers With 50% Power Conversion Efficiency)」 Electronics Letters, Vol.31, pp.208-209 (1995)に記載されている。

【0004】現在の側面酸化方法は、メサ構造が大きいことや、酸化領域が大きいこと、及びアパーチャサイズの制御に乏しいこと等の幾つかの欠点を有する。この方法の主な欠点は、酸化量の制御が難しいことである。一般に、好ましい装置アパーチャは1~10ミクロン(μm)のオーダーであり、これはもっと大きなメサの側面から酸化して装置を製造するためには一般に数十ミクロン(一般には50~100ミクロンの大きさでなければならない)の側面酸化が必要であることを意味する。この結果、アパーチャのサイズが側面酸化領域の範囲に較べて小さくなるので、ウェハによって及び1つの特定のウェハの中でも酸化率が一定でない結果、形成された装置は一般にはアパーチャサイズに大きなばらつきを有する。AlGaAsの酸化率は、そのアルミニウム成分に大きく依存する。あらゆる成分の非均一性は酸化率の変化によって反映され、これにより酸化量に不確実性が生じる。このプロセスはまた、温度に比較的敏感でもある。酸化率がまちまちであるため、レーザ構造体を酸化する程度を確実にすることが難しく、これにより装置のパフォーマンスの再現性が低減する。つまり、このようなプロセスは、様々な製造問題及び生産問題を生じる。

【0005】伝統的な側面酸化方法により形成されたVCSELの他の欠点は、高密度レーザアレイを形成する際に生じる問題である。アルミニウム含量の高い埋込層を酸化するために、メサを残してエッチングプロセスが行われる。このメサのエッチングのあと、側面酸化を行って酸化された領域によって特定サイズのレーザアパーチャを固定する。部分的にメサ構造を使用して1つのアレイの中の2つのレーザ間の最小スペースを制限する。このメサのステップの高さは、厚い上部DBRミラーを通してエッチングする必要があるため、一般的には数ミクロンである。更に、メサの頂面もまたレーザアパーチャを塞がずにこのメサ上に金属接合部を形成できるように、比較的大きくする必要がある。典型的には、電気接点の最小サイズは約 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ である。従って、メサのステップの高さ及びその表面上への電気接点の配置により、非常にコンパクトな又は高密度のレーザアレイを形成することが難しくなっている。

【0006】典型的なメサ構造に関する問題の幾つかに対する解決策は、浅いメサを使用することである。浅いメサを使用するために、エピタキシャル処理によって上部ミラーは形成されない。その代わり、上部ミラーは付着された複数層の誘電体物質によって形成され、これにより光を反射する。電気接点は活性領域の上部の上に直接作成される。この方法によって形成された装置は、約12ミクロンの幅を有するメサ上に製造された。しかし、誘電体物質を付着させ、リフトオフ(lift-off)プロセスを用いて接点を固定するという更なる複雑性によって、装置の低閾値電流及び高い効率性を最適化することが難しくなっている。

【0007】最後に、伝統的な側面酸化方法によって形成されたVCSELはしばしば機械的完全性又は構造的一体性が乏しいことがある。酸化されていないGaAs又はAlGaAsへの酸化層の接着が一般に弱いため、バックング(実装)プロセス中に加えられた上方向への圧力によりメサ全体の積層を崩す場合がある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、レーザ構造のレイジングアパーチャを固定するために使用することができ、その酸化領域が適切に固定及び制御された非常にコンパクトなVCSEL構造を提供する。これらの酸化領域は、レーザ構造の中に所定のパターンに配置された複数のキャビティを使用して形成される。レイジングアパーチャは、これらのキャビティを中心とするこれらの酸化領域によって囲まれた、酸化されていない領域である。酸化プロセスの間、半導体構造の中に埋め込まれたアルミニウム含量の高いAlGaAs層は、これらのキャビティの各々から外側に向けて放射方向へと、2つの隣接するキャビティの間の酸化領域がオーバーラップするまで酸化される。酸化領域及びアパーチャ部を形成するためのアルミニウム含量の高いAlGaAs層は、しばしば“酸化層”と呼ばれる。

【0009】本発明の利点は、レイジングアパーチャを固定する酸化領域の大きさが、レイジングアパーチャ自体の大きさと同じくらいであることである。一般に、AlGaAsの酸化率は物質成分及び処理パラメータに依存し、これらは非常に不均一である。これらの不均一性は、(酸化領域のサイズ)と(最終レーザアパーチャのサイズ)の比率が小さくなるにつれ、インパクトが小さくなる。換言すると、レイジングアパーチャを形成するのに必要な酸化量を大幅に削減すると、アパーチャサイズは物質及びプロセスの変化にあまり影響を受けなくなる。これにより、アパーチャの適切な固定及び制御が可能となる。

【0010】本発明の利点は、レイジングアパーチャを固定する酸化領域の大きさが、レイジングアパーチャ自体の大きさと同じくらいであることである。

【課題を解決するための手段】本発明の第一の態様は、発光表面を有する表面発光レーザであって、前記レーザが、基板を含み、前記基板上に形成された複数の半導体層を含み、前記半導体層のうちの1つが中に活性領域を有する活性層を含み、前記活性層の一方の側に位置された第一リフレクタと、前記活性層の反対側に位置された第二リフレクタとを含み、前記リフレクタの内の少なくとも1つを通して光エネルギーを一部透過させ、前記半導体層のうちの1つが電流制御層であり、前記電流制御層の中まで延びている複数のキャビティを含み、前記電流制御層の中に前記活性層を通る電流を制御するアパーチャを有し、前記アパーチャ領域は前記電流制御層の中の非導電性領域によって囲まれた前記電流制御層の中の導電性領域によって固定されており、前記非導電性領域の各々は1つのキャビティを囲み、及び、前記レーザの

両側にそれぞれ第一及び第二の電極を含み、これらの電極が前記活性領域のバイアスを可能にする。

【0011】本発明の第二の態様は、前記電流制御層が酸化層であり、前記導電性領域が前記酸化層の酸化されていない部分であり、前記非導電性領域が前記酸化層の酸化された部分である、第一の態様に記載した表面発光レーザである。

【0012】本発明の第三の態様は、発光表面を有する表面発光レーザの製造方法であって、基板を形成するステップを含み、前記基板上に複数の半導体層を形成するステップを含み、前記半導体層のうちの1つの層が活性層を含み、前記半導体層の他の1つの層が電流制御層を含み、境界パターンに配置され、前記発光表面から前記電流制御層の中へと延びる複数のキャビティを形成するステップを含み、前記キャビティを通して前記電流制御層の部分を酸化環境にさらすステップを含み、前記キャビティの周りの前記電流制御層の領域を酸化して、前記領域を広げて互いの領域を近づけ、これらの領域の間に中央非導電性領域を形成するステップを含み、及び、前記レーザ装置の両側にそれぞれ第一及び第二の電極を形成するステップを含み、これらの電極により前記活性領域のバイアスを可能にする。

【0013】

【発明の実施の形態】図3は、本発明の好適な実施の形態を形成するのに使用される半導体構造を表す。図示された構造は幾つもの半導体層を含み、これらは縦型キャビティ表面発光レーザを形成するために使用される。見て分かる通り、これらの層は略図として表されているだけであり、それぞれの相対的な厚みは一切関係ない。図3に表されたように、約200ナノメートルのn型-GaAsバッファ層102が有機金属化学蒸着(MOCVD)として知られるエピタキシャル蒸着処理を用いてn型-GaAs基板100上で成長させられる。n型-GaAs基板及びGaAsバッファのドーピングレベルはこれらの層に於ける抵抗が適度に低くなるように、一般的には $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ぐらいである。これらの半導体層はまた、液相エピタキシャル成長("LPE")、分子線結晶成長("MBE")、又は他の既知の結晶成長プロセスによって基板上に付着されることもできる。

【0014】GaAsバッファ層102の上には下部分散ブラッグリフレクタ(DBR、Distributed Bragg reflector)104を形成する超格子構造があり、VCS EL構造において必要な内部反射を提供する。下部DBR104は典型的にはアルミニウムの含量の高いAlGaAs層及びアルミニウムの含有率の低い他のAlGaAs層からなる複数の対により形成される。層の対の数を増やした後、アルミニウム含量の高い最終AlGaAs層が付着され、その後、光学キャビティの第一クラッディング層106を成長させる。820ナノメートルの

レーザ発光のためには、各層の対の典型的な厚みは約120ナノメートルである。各層の対の全体的な厚みは、レーザ動作の意図された波長における光波長の半分に等しくなるように設計される。最後の高アルミニウム含有層の厚みは、レーザ動作の意図された波長における光波長の四分の一に等しくなるように設計される。アルミニウム含量の高いこのAlGaAs層は、アルミニウムを約86%含む。アルミニウム含量の高いAlGaAs層のアルミニウム含量は、低屈折率を提供するに十分高いが、簡単に酸化する程は高くない。アルミニウム含量の低いAlGaAs層は約16%のアルミニウム含量を有する。アルミニウム含量の低いAlGaAs層の成分は、一般的には、そのレイジング波長で非吸収性であるくらい十分な量のアルミニウムを含む。

【0015】この実施の形態では、半導体サンプルの頂面を介して光が外部結合するので、内部反射を高くするためには、下部DBR104の反射率はできるだけ100%に近くするべきである。一般に内部反射率が高いとレーザの閾値電流が低減する。下部DBR104の反射率が一般には超格子の2つのAlGaAs層の屈折率の差とその構造における層の対の数との関数であることは良く知られている。この屈折率の差が大きければ、所与の反射率を得るのに必要な対の数は少なくて済む。下部DBR構造104を形成するには一般的には30~40対のAlGaAs層が使用される。

【0016】下部DBR構造104をエピタキシャル処理により付着した後、AlGaAsクラッディング層106を付着する。この下部AlGaAsクラッディング層106のアルミニウム含量は約58%であり、ドーピングレベルは $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn型である。この層の厚みは約100ナノメートルである。このAlGaAsクラッディング層106の上にはレーザ構造の活性層108があり、5~10ナノメートルの厚みを有する4つの量子井戸を含み、これらの量子井戸は2~8ナノメートルの厚みを有する3つのバリアによって仕切られている。レーザ構造の所望の出力波長に依って、純粋なGaAs又はアルミニウム含量の低いAlGaAsを使用して量子井戸構造が形成される。この実施の形態では、これらの量子井戸は典型的には約7%のアルミニウム含量を有するドーピングされていないAlGaAsによって形成される。本発明において、活性層108を形成するのに単一の量子井戸又は他の複数量子井戸("MQW")構造の使用を妨げない。

【0017】活性層108の上は上部AlGaAsクラッディング層110であり、このクラッディング層110はそのドーパ剤の極性を除けば下部AlGaAsクラッディング層106と構造的に似ている。この上部クラッディング層110は約58%のアルミニウム含量を有するが、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のドーピングレベルを有するp型である。下部AlGaAsクラ

ッディング層106と同様に、一番上のクラッディング層110の厚みも約100ナノメートルである。これらの2つのAlGaAsクラッディング層106及び110は、活性層108とともに光学キャビティをおおむね形成し、このキャビティの中において所望の光学ゲインが得られる。層106、108及び110のトータルの厚みは、レーザ動作の意図する波長の整数倍に等しく調節される。

【0018】上部AlGaAsクラッディング層110の上は酸化層112であり、レーザアパーチャを形成するのに使用される。このレーザアパーチャは電流の流れを制御し、これにより活性層108の中のレイジング位置を制御する。この実施の形態では、この酸化層112は上部AlGaAsクラッディング層110の上にある。本発明において、この酸化層112を他の位置（活性層108のもっと上か又は下）に置き換えることを妨げない。典型的には、この酸化層112は約95%のアルミニウム含量及び約70ナノメートルの厚みを有する。典型的には、この酸化層112は上部DBRミラーの第一層を構成し、p型ドーパ剤を含む。

【0019】酸化層112が形成された後、p型ドーパ剤を含む残りの上部DBRミラー114を付着する。上部DBRミラー115はそのドーパ剤の極性を除けば下部DBRミラー104と構造的に似ている。更に、活性領域の各側に最も近いミラー層は一般にアルミニウム含量が高い。この実施の形態において、この高アルミニウム含有層もまた酸化層112である。この実施の形態では、上部DBR114の反射率は、半導体サンプルの表面を介して光が外部結合するので、典型的には9.8%〜9.9%である。この上部DBRミラー114を形成するには一般に2.0〜2.5対の交互AlGaAs層が使用される。図4は本発明のもとで図3に表された半導体構造に適用され得るマスクの一部の平面図である。まず、従来と同様に酸化シリコンの均一層を半導体サンプル全体に付着させる。次に、フォトレジスト層118をこの酸化シリコン層上に付着させ、フォトリソグラフィによって4つの丸い領域120からフォトレジスト材料を取り除き、図4のようなマスクを形成させる。これらの丸い領域120は予め決められた境界パターンを形成し、これは後にレーザ構造の最終的なアパーチャを固定するのに使用される。

【0021】図5に表されたように、このサンプルにエッチング処理を施し、この間にエッチング処理にさらされた4つの露出された丸い領域120を通して半導体構造の中に円筒形キャビティ126が形成される。エッチングは反応性イオンエッチング等の処理によって行われ、縦型側壁を有する深い窪みが形成される。各円筒形キャビティの深さは少なくとも酸化層112にまで達する（図5に図示）。円筒形キャビティが形成されて表面

上のフォトレジストが全て取り除かれた後、この半導体サンプルに酸化処理を行う。このサンプルは典型的には350°Cを超える高温で窒素環境の中、水蒸気を用いて酸化される。この酸化処理の間、酸化層112は各円筒形キャビティを介して周囲にさらされる（矢印Bで図示）。こうして、アルミニウム含量の高いAlGaAsからなる酸化層112は、一般には各キャビティを取り巻く酸化領域124が互いに近づいてオーバーラップするまで（図6に図示）、各キャビティ126から外側に向かって放射方向に酸化される。しかし、電界及び光学フィールド（optical field）が適度に制限される範囲であれば、酸化領域間の非酸化ギャップは小さくても良い。各キャビティの断面は円筒形であるものとして記載してきたが、いかなる適切な断面を使用してもよい。

【0022】酸化プロセスの間、構造中の他の層はアルミニウム含量が低いため、殆ど酸化されないまま残る。一定温度では、AlGaAsの酸化率はアルミニウム含量が増えるとともに、おおむね指数関数的に高くなる。酸化処理の時間は酸化層112のアルミニウム含量及び酸化温度によって決まる。好ましい制御可能な酸化時間は数十分である。従って、酸化されている層は95%に近いアルミニウム含量を有するAlGaAsである。AlGaAs層の酸化されないまま残る部分は、活性層108を通る電流パスを制御する。

【0023】図6は、図3に表された酸化層112の拡大略平面図であり、この層の上の全ての層を取り除いたところを想定している。影付きの部分122は酸化層112の中のレーザアパーチャを表し、このアパーチャは活性層108によるレーザ発光の領域を定める。このアパーチャは本発明の酸化プロセスにより形成される。酸化プロセスの間、酸化前線（oxidation front）は各々のキャビティ126からなるバタニヤから酸化層を這って進み、影付きの部分122は酸化領域124の境界線の交点により形成される。円筒形キャビティ126から発した酸化前線もまたほぼ円筒形であり、オーバーラップした酸化領域124になる。オーバーラップ領域124の中央は酸化されないまま残る。この酸化されない領域は影付きの領域122を形成し、これがレーザ構造のアパーチャである。酸化プロセスの後、イオン注入プロセス（以下に記載する）を使用して絶縁領域130を形成し、レーザ構造をその周りのものから隔離する。

【0024】酸化プロセスの後、領域124は酸化され、酸化されない部分122は活性層108を通る電流パスを制御するアパーチャを形成する。アパーチャ122の下にある活性層108の当該部分を通る電流の流れは、p型及びn型キャリアの注入濃度（injected density）になり、光が増幅される。電流の流れが十分に高い場合、この光の増幅は、DBRミラー104及び114からのフィードバックと相まって、酸化層112の中のアパーチャ122によって画定される領域内において活

性層からレーザ発振及び発光が生じる。

【0025】イオン注入絶縁(隔絶)プロセスを用いて形成される絶縁領域130(図6、図7及び図8に図示)は抵抗が高い。このようなプロセスに使用される典型的な注入エネルギーは50KeV、100KeV及び200KeVである。線量は一般には各エネルギーレベルで $3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ である。絶縁領域402を形成するのに使用されるイオンは水素である。

【0026】絶縁プロセスの後、半導体構造の頂面及び底面にそれぞれレーザをバイアスするための金属接点132及び144が形成される(図7、図8及び図9に図示)。これらの接点を形成するのに使用される典型的な金属は、チタニウム/金の2層フィルムである。

【0027】図9は、一般的な金属被覆法プロセスにより頂面接点132を形成した後、本発明に従って形成されたVCSEL構造の平面図を表す。この図のライン7-7及び8-8で切り取った断面図は図7及び図8に表されている。頂部接点132はほぼ鍵穴型であり、環状部分134及び延長部分136を含む。環状部分はキャビティ126の内側(inboard)にあり、レーザアパーチャ122の上にかぶさっている。これは透明ではないので(非透過性なので)、中央アパーチャを介してレーザからの光が結合され得るように、これは環状に作られる。環状部分134の幅"W"は通常、使用される処理技術のもとで達成可能な最小ライン幅によって制限され、これにより、隣接するVCSEL構造同士のピッチの下限を設定する。従って、2つの隣接するVCSELアパーチャ122の中心の間の典型的なピッチは、" $4W$ "である。しかし、透明なコンダクタを使用する場合、頂面接点がレーザアパーチャ122の上に被さっても良いので、隣接するVCSEL構造間のピッチは更に縮小することができる。従って、このピッチは図10に表されたように" $2W$ "のオーダーまで縮小してもよい。典型的なコンダクタは酸化インジウム錫であり、これはスパッタリングプロセスにより付着させてもよい。頂面接点の他の実施の形態が図10に表されており、番号138で表されている。これは、透明な導電性接触フィンガ140及び接触パッド142を含み、接触フィンガ140はレーザアパーチャ122の上にかぶさっている。頂面上に電気接点を形成した後、基板100の底面に金属を付着させてボトム電極144が形成される。

【0028】図11と図12、及び図13と図14と図15、並びに図16と図17と図18は、本発明の方法により形成されるレーザアレイを形成するための他のバック(実装)配列を表す。図11のレーザ装置及び図12に表されたこのような装置の配列において、各レーザ構造は酸化領域224によって画定されたアパーチャ222を含み、これらの酸化領域224は正三角形の頂点に位置する3つの円筒形キャビティ226の境界パターンを囲んでいる。2つのキャビティの中心と中心の間の

スペースは全て" S "である。先に述べたように、酸化プロセスのあいだ、アルミニウム含量の高い埋め込まれたAlGaAs層は、酸化領域224がオーバーラップして酸化されていないレーザアパーチャ222が形成されるまで、円筒形キャビティ226から外側に向かって放射方向に酸化される。図11に表されたバック配列を繰り返して、図12に表されたようなレーザアレイを形成することができる。2つの円筒形キャビティの中心と中心の間の間隔を" S "とすると、2つのレーザアパーチャの間の典型的な直線間隔(linear spacing、図12の配列が延出する方向の成分距離)は約" $S/2$ "である。

【0029】図13のレーザ装置及び図14及び図15の配列において、円筒形キャビティ126からなる四角い境界パターンが表されている。酸化領域124はオーバーラップし、酸化されていないレーザアパーチャ122を形成する。図13に表されたバック配列を繰り返して図14及び図15に表されたようなレーザアレイを形成することができる。図14のようなバック配列を使用する場合、2つの隣接する円筒形キャビティの中心と中心の間の間隔を" S "とすると、2つのレーザアパーチャの間の典型的な直線間隔" L "はほぼ" S "である。図15のような配列を使用する場合、2つの隣接する円筒形キャビティの中心と中心の間の間隔を" S "とすると、2つのレーザアパーチャの間の典型的な直線間隔" L "はだいたい

$$【数1】 \quad L \approx \sqrt{2} \times S$$

である。図16のレーザ装置及び図17及び図18

【0030】図16のレーザ装置及び図17及び図18の配列では、円筒形キャビティからなる六角形の境界パターンが表されている。キャビティ326は他の多角形の頂点に配置されてもよいことは明らかである。先述の実施の形態のところでも述べたように、レーザアパーチャは酸化された領域324によって画定された酸化されていない領域322によって形成される。図16に表されたバック配列を繰り返して図17及び図18に表されたようなレーザアレイを形成してもよい。図17のような配列を使用する場合、2つの隣接する円筒形キャビティの中心と中心の間の間隔を" S "とすると、2つのレーザアパーチャの間の典型的な直線間隔" L "はほぼ" $1.5S$ "である。図18のような配列を使用する場合、2つのレーザアパーチャの間の典型的な直線間隔" L "はだいたい

$$【数2】 \quad L \approx \sqrt{3} \times 0.5S$$

である。

【0031】先に挙げた組成物、ドーパ剤、ドーピングレベル、及び寸法は例示的なものであって、これらのパラメータをいろいろ変えてもよい。更に、図に表した層

10

20

30

40

50

に他の層を加えてもよい。温度や時間等の実験条件を変えてもよい。最後に、GaAs及びGaAlAsの代わりにGaAlSb、InAlGaP、又は他の第III-V族合金等の他の半導体材料を使用してもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】VCSEL構造の中にレーザアパーチャを形成する従来技術を表す。

【図2】VCSEL構造の中にレーザアパーチャを形成する従来技術を表す。

【図3】本発明の好適な実施の形態を形成するのに使用される半導体構造の側断面図である。

【図4】本発明のもとで図1に表された半導体構造に付着されるマスクの一部の正面図である。

【図5】中にキャビティがエッチングされた図1の半導体構造の部分側断面図である。

【図6】上にある層が取り除かれた、酸化層の一部の簡略平面図である。

【図7】図6及び図9の中のライン7-7に沿って実質的に切り取った断面図である。

【図8】図6及び図9の中のライン8-8に沿って実質的に切り取った断面図である。

【図9】不透明な頂面接点を表す2つの隣接したVCSEL構造の平面図である。

【図10】透明な頂面接点を表す2つの隣接したVCSEL構造の平面図である。

【図11】キャビティのパターンを囲む三角形により画

定されたアパーチャを有するレーザ構造を表す。

【図12】図11に表された三角形の境界パターンによって画定されたアパーチャを有するレーザ構造を表す。

【図13】四角形に配置された4つのキャビティの境界パターンによって画定されたアパーチャを有するレーザ構造を表す。

【図14】図13に表された四角形境界パターンを繰り返して形成されるレーザアレイを表す。

【図15】図13に表された四角形境界パターンを繰り返して形成される他のレーザアレイを表す。

【図16】六角形に配置された6つのキャビティの境界パターンによって画定されたアパーチャを有するレーザ構造を表す。

【図17】図16に表された六角形境界パターンを繰り返して形成されるレーザアレイを表す。

【図18】図16に表された六角形境界パターンを繰り返して形成されるもう1つのレーザアレイを表す。

【符号の説明】

10、100 基板

12、108 活性層

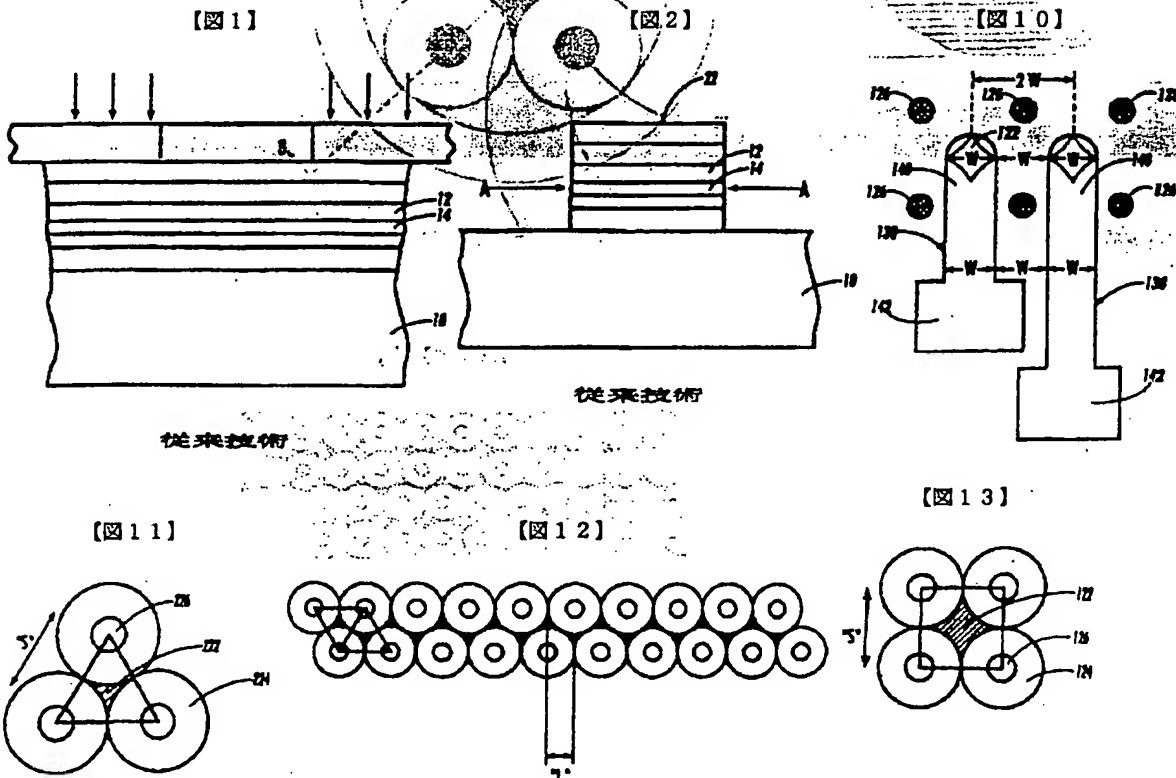
104、114 リフレクタ

112 酸化層（電流制御層）

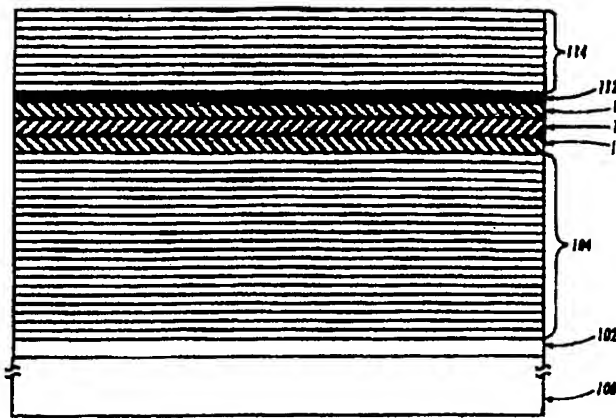
122、222、322 レーザアパーチャ

126、226、326 円筒形キャビティ

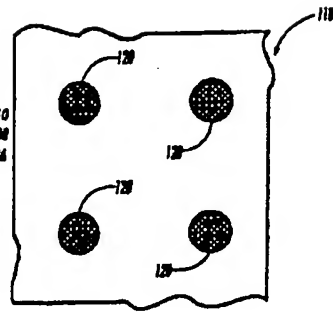
132、144 金属接点（電極）



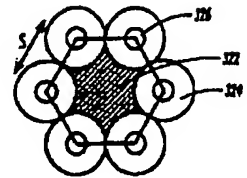
【図3】



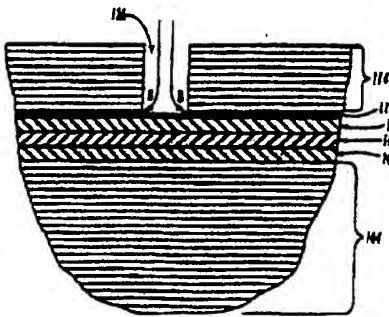
【図4】



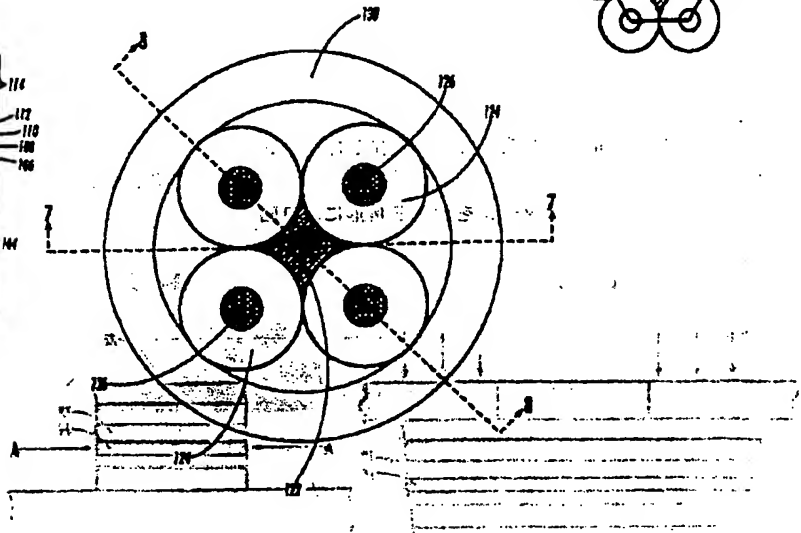
【図16】



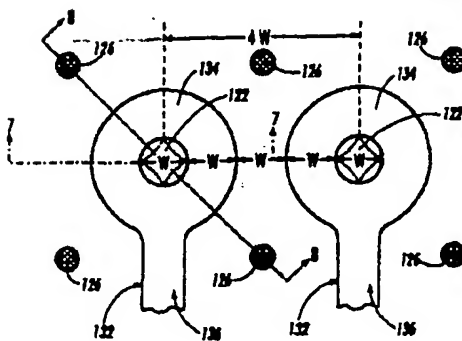
【図5】



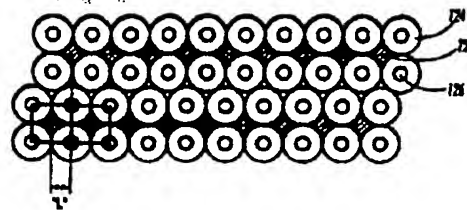
【図6】



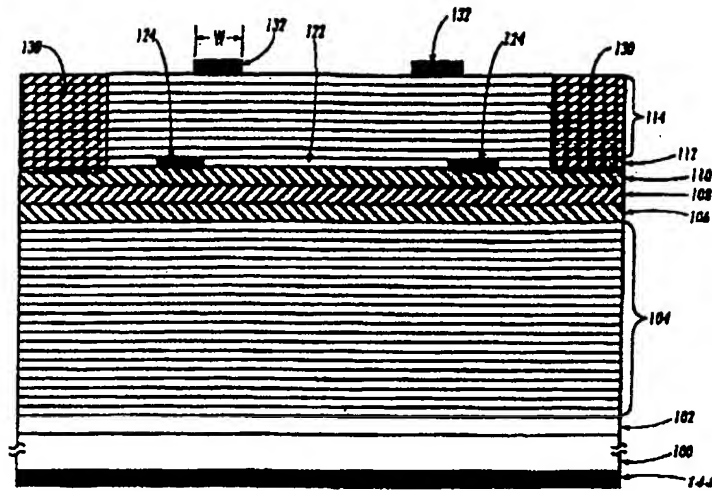
【図9】



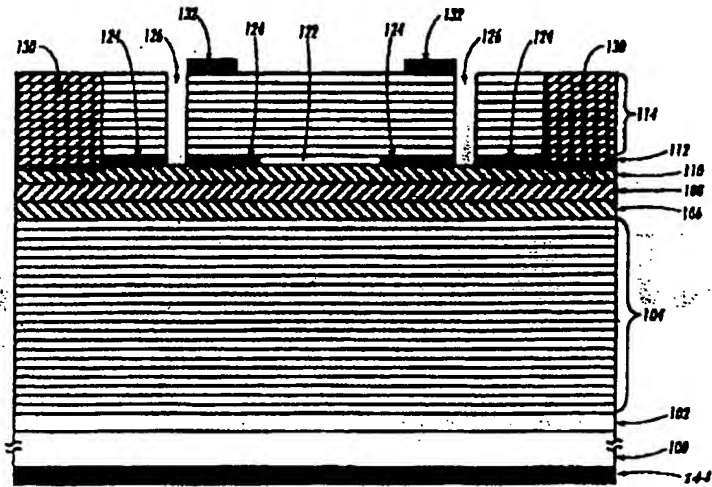
【図14】



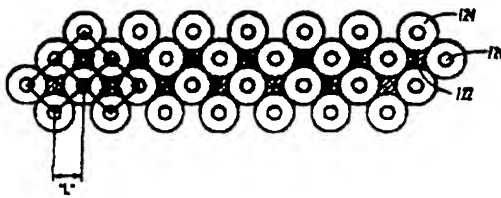
【図7】



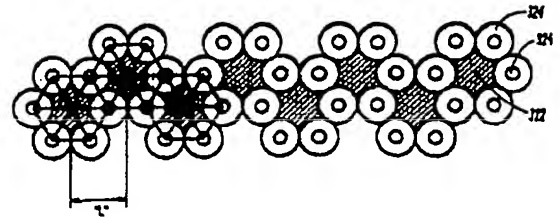
【図8】



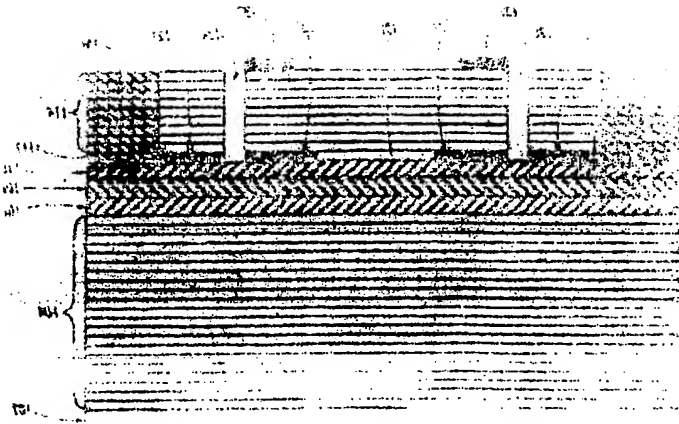
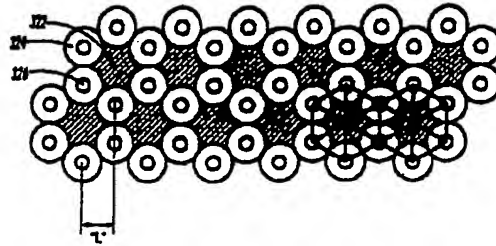
【図15】



【図17】



【図18】



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-229248

(43)Date of publication of application : 25.08.1998

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

(21)Application number : 10-024169

(71)Applicant : XEROX CORP

(22)Date of filing : 05.02.1998

(72)Inventor : THORNTON ROBERT L

(30)Priority

Priority number : 97 37175
97 940867Priority date : 07.02.1997
30.09.1997

Priority country : US

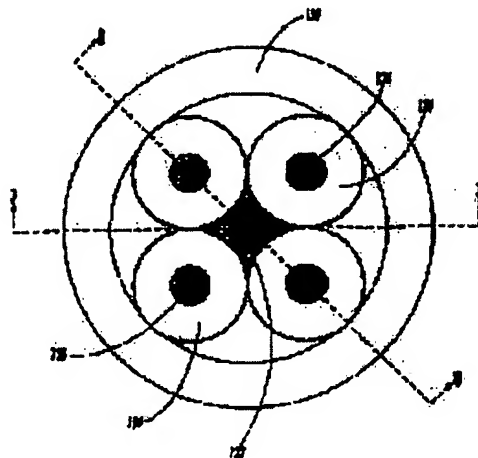
US

(54) SURFACE-EMITTING LASER AND MANUFACTURE THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a compact VCSEL structure, usable for defining lasing openings of a laser structure in which the definition of its oxidized regions and control are done superiorly.

SOLUTION: Using cavities 126 disposed on a specified pattern in a laser structure, oxidized regions 124 are formed. Lasing openings 122 are non-oxidized regions surrounded by these regions 124 with centers at the cavities. During oxidation processing, an Al-rich AlGaAs layer embedded in a semiconductor structure is oxidized, until the oxidized regions 124 between the two adjacent cavities 126 overlapping radially outwards from these cavities.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

05.02.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3162333

[Date of registration] 23.02.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] Are the surface luminescence laser which has a luminescence front face, and said laser contains a substrate. The first reflector to which one of said semi-conductor layers was located in inside at said one barrier layer side including the barrier layer which has an active region including two or more semi-conductor layers formed on said substrate, A part of light energy is made to penetrate through at least one of said reflectors including the second reflector located in the opposite hand of said barrier layer. One of said semi-conductor layers is a current control layer, and two or more cavities prolonged in said current control layer are included. It has the aperture which controls the current which passes along said barrier layer in said current control layer. Said aperture field is demarcated by the conductive field in said current control layer surrounded by the non-conductive field in said current control layer. Each of said non-conductive field is surface luminescence laser with which one cavity is surrounded and these electrodes make bias of said active region possible at the both sides of said laser including the first and the second electrode, respectively.

[Claim 2] Surface luminescence laser according to claim 1 said whose current control layer is an oxidizing zone, said whose conductive field is the part into which said oxidizing zone has not oxidized and said whose non-conductive field is the part into which said oxidizing zone oxidized.

[Claim 3] Are the manufacture approach of surface luminescence laser of having a luminescence front face, and the step which forms a substrate is included. One of said semi-conductor layers contains a barrier layer including the step which forms two or more semi-conductor layers on said substrate. Other one layer of said semi-conductor layer is arranged at a boundary pattern including a current control layer. The step which forms two or more cavities prolonged into said current control layer from said luminescence front face is included. The field of said surrounding current control layer of said cavity is oxidized including the step which exposes the part of said current control layer to an oxidization environment through said cavity. Extend said field, bring a mutual field close, and the step which forms a central non-conductive field among these fields is included. And the manufacture approach of the surface luminescence laser which makes bias of said active region possible with these electrodes including the step which forms the first and the second electrode in the both sides of said laser equipment, respectively.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] Generally this invention relates to semiconductor laser. A compact and the vertical mold cavity surface luminescence laser demarcated good can be dramatically formed more in a detail by this invention.

[0002]

[Description of the Prior Art] Solid-state semiconductor laser is important equipment in the application of photoelectron communication system, a high speed printing system, etc. Although, as for current, the generality activity of the edge luminescence (edge emitting) laser is carried out in these applications, the interest about vertical mold cavity surface luminescence laser (vertical cavity surface emitting laser, "VCSEL") has increased in recent years. The reason by which the interest increased in VCSEL is that it is difficult for edge luminescence laser to converge the beam discharged since beam spread was large. Furthermore, edge luminescence laser cannot be tested until the cleavage of the wafer is carried out to separate equipment (the edge forms the mirror facet of each equipment). On the other hand, not only the beam of VCSEL has small beam spread, but VCSEL emits light in a vertical light on the surface of a wafer. Furthermore, a design top mirror unifies at VCSEL, it is incorporated, and manufacture of the test of a wafer and-dimensional [1], or a two-dimensional laser array is attained by these mirrors.

[0003] The known technique of manufacturing VCSEL is based on a side-face oxidation process, and is illustrated by drawing 1 and drawing 2 . By this approach, the laser structure containing two or more layers is formed on a substrate 10. These layers contain a barrier layer 12 and the AlGaAs layer 14 with a high aluminum content. The AlGaAs layer 14 is arranged on the barrier layer of laser structure, or at either the bottom. Next, this layer structure is masked, it is etched selectively, and the mesa structure 22 (it illustrates to drawing 2) is formed. As a result of etching, the AlGaAs layer 14 with the high aluminum content which adjoins a barrier layer 12 is exposed to the edge of the mesa structure 22. In order to form a raising radiation zone, i.e., "aperture", this AlGaAs layer oxidizes in a longitudinal direction from an edge toward the core of mesa structure, as expressed with the arrow head A. Since the aluminum content is lower than an AlGaAs layer, other layers in this structure remain not oxidized intrinsically. Therefore, these oxidation quotients are also substantially low. Therefore, only an AlGaAs layer with a high aluminum content oxidizes. The part into which the high aluminum content layer oxidized serves as non-conductive electrically as a result of oxidation treatment. The field (conductivity) where it remained in the AlGaAs layer and which has not oxidized forms the so-called "the aperture (opening)", this aperture is a field which defines the current pass in laser structure, and, thereby, a laser luminescence field is decided. VCSEL formed by such technique is indicated by "the vertical mold cavity surface luminescence laser Electronics Letters whose power efficiency is 50% and which oxidized selectively (Selectively Oxidized Vertical Cavity Surface Emitting Lasers With 50% Power Conversion Efficiency)", Vol.31, and pp.208-209 (1995).

[0004] The current side-face oxidization approach has some faults, such as large [an oxidization field] and deficient [large / mesa structure / and] in control of aperture size. The main faults of this approach

are that control of the amount of oxidation is difficult. Generally, desirable equipment aperture is 1-10 microns (micrometer) order, and this means that dozens of microns (it must generally be the magnitude of 50-100 microns) side-face oxidation is generally required, in order to oxidize from the side face of a bigger mesa and to manufacture equipment. Consequently, since the size of aperture becomes small compared with the range of a side-face oxidation field, it reaches with a wafer and, generally, as for the formed equipment, has big dispersion in aperture size the result which is not fixed of the one specific wafer. It depends for the oxidation quotient of AlGaAs on the aluminum component greatly. The non-homogeneity of all components is reflected by change of an oxidation quotient, and, thereby, a uncertainty produces it in the amount of oxidation. This process is also comparatively sensitive to temperature again. Since the oxidation quotient is various, it is difficult to ensure extent which oxidizes the laser structure, and, thereby, the repeatability of the performance of equipment decreases. That is, such a process produces various manufacture problems and a production problem.

[0005] Other faults of VCSEL formed by the traditional side-face oxidation approach are problems produced in case a high density laser array is formed. In order to oxidize a buried layer with a high aluminum content, it leaves a mesa and an etching process is performed. The laser aperture of specific size is demarcated after etching of this mesa by the field which performed side-face oxidation and oxidized. The minimum tooth space between two laser in one array is selectively restricted using mesa structure. Since it is necessary to etch the height of the step of this mesa through a thick up DBR mirror, generally it is several microns. Furthermore, it is necessary to also enlarge the top face of a mesa comparatively so that a metal joint can be formed on this mesa, without closing raising aperture. typical -- the minimum size of electric contact -- about 50 -- x50micrometer² it is . Therefore, it is difficult by arrangement of the height of the step of a mesa, and electric contact to the front-face top to form the laser array of the **** high density which is very a compact.

[0006] The solution over some of problems about typical mesa structure is using a shallow mesa. In order to use a shallow mesa, an up mirror is not formed of epitaxial processing. Instead, an up mirror is formed with the dielectric matter of two or more layers to which it adhered, and, thereby, reflects light. Electric contact is directly created on the upper part of an active region. The equipment formed by this approach was manufactured on the mesa which has width of face of about 12 microns. However, the dielectric matter is made to adhere and it is difficult to optimize the low threshold current and the high efficiency of equipment by the further complexity of demarcating a contact using a lift-off (liftoff) process.

[0007] VCSEL formed by the traditional side-face oxidation approach at the end has that mechanical integrity or structural integrity is often scarce. Since adhesion of the oxidizing zone to GaAs or AlGaAs which has not oxidized is generally weak, the laminating of the whole mesa may be broken down with the above pressure added into the packing (mounting) process.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] This invention offers the very compact VCSEL structure which can be used in order to demarcate the raising aperture of laser structure and by which the oxidation field was demarcated and controlled appropriately. These oxidation fields are formed into laser structure using two or more cavities arranged at the predetermined pattern. Raising aperture is a field which was surrounded by these oxidation fields centering on these cavities and which has not oxidized. Between oxidation processes, it oxidizes until the oxidation field between two adjoining cavities overlaps the AlGaAs layer with the high aluminum content embedded into semi-conductor structure in the radiation direction towards an outside from each of these cavities. The AlGaAs layer with the high aluminum content for forming an oxidization field and the aperture section is often called a "oxidizing zone."

[0009] The oxidization area size to which the advantage of this invention demarcates raising aperture is the about the same as the magnitude of the raising aperture itself. Generally, the oxidation quotient of these of AlGaAs is dramatically uneven depending on a matter component and a processing parameter. As for such heterogeneity, impact becomes small as the ratio of : (size of an oxidization field) (size of the last laser aperture) becomes small. When the amount of oxidization required to form raising aperture

when it puts in another way is reduced substantially, aperture size stops receiving effect in change of the matter and a process not much. This becomes suitable demarcation of aperture, and controllable.

[0010]

[Means for Solving the Problem] The first mode of this invention is surface luminescence laser which has a luminescence front face. The first reflector to which one of said semi-conductor layers was located in inside at said one barrier layer side including the barrier layer which has an active region including two or more semi-conductor layers by which said laser was formed on said substrate including the substrate. A part of light energy is made to penetrate through at least one of said reflectors including the second reflector located in the opposite hand of said barrier layer. One of said semi-conductor layers is a current control layer, and two or more cavities prolonged in said current control layer are included. It has the aperture which controls the current which passes along said barrier layer in said current control layer. Said aperture field is demarcated by the conductive field in said current control layer surrounded by the non-conductive field in said current control layer. Each of said non-conductive field surrounds one cavity, and these electrodes make bias of said active region possible at the both sides of said laser including the first and the second electrode, respectively.

[0011] The second mode of this invention is surface luminescence laser [which was indicated in the first mode] said whose current control layer is an oxidizing zone, said whose conductive field is the part into which said oxidizing zone has not oxidized, said whose non-conductive field is the part into which said oxidizing zone oxidized.

[0012] The third mode of this invention is the manufacture approach of surface luminescence laser of having a luminescence front face. The step which forms two or more semi-conductor layers on said substrate is included including the step which forms a substrate. In one of said semi-conductor layers, other one layer of said semi-conductor layer contains a current control layer including a barrier layer. It is arranged at a boundary pattern and the step which forms two or more cavities prolonged into said current control layer from said luminescence front face is included. The field of said surrounding current control layer of said cavity is oxidized including the step which exposes the part of said current control layer to an oxidization environment through said cavity. Said field is extended, a mutual field is brought close, and bias of said active region is made possible with these electrodes including the step which forms the first and the second electrode in the both sides of said laser equipment, respectively, including the step which forms a central non-conductive field among these fields.

[0013]

[Embodiment of the Invention] Drawing 3 expresses the semi-conductor structure used for forming the gestalt of suitable operation of this invention. These are used in order that the illustrated structure may form vertical mold cavity surface luminescence laser including many semi-conductor layers. It sees, and these layers are only expressed as schematic drawing, and each relative thickness is not related at all as it understands. As expressed to drawing 3 R> 3, about 200nm n mold-GaAs buffer layer 102 is grown up on the n mold-GaAs substrate 100 using the epitaxial vacuum evaporation processing known as organic metal chemical vacuum deposition ("MOCVD"). Generally it is at least $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ - $7 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ so that resistance [in / in the doping level of an n mold-GaAs substrate and a GaAs buffer / these layers] may become low moderately. It can also adhere to these semi-conductor layers on a substrate again according to liquid phase epitaxial growth ("LPE"), molecular-beam crystal growth ("MBE"), or other known crystal growth processes.

[0014] There is a superstructure which forms the lower distribution Bragg reflector (DBR and Distributed Bragg reflector) 104 on the GaAs buffer layer 102, and required internal reflection is offered in VCSEL structure. The lower part DBR104 is formed of two or more pairs which consist of an AlGaAs layer with the typically high content of aluminum, and other AlGaAs layers with the low content of aluminum. The increase of the number of the pairs of a layer, and after carrying out, it adheres to a last AlGaAs layer with a high aluminum content, and the first ***** layer 106 of an optical cavity is grown up after that. The thickness with the pair of each class typical for 820nm laser luminescence is about 120 nanometers. A pair of overall thickness of each class is designed so that it may become equal to the one half of light wave length in the wavelength on which laser actuation was

meant. The thickness of the last high aluminum content layer is designed so that it may become equal to the quarter of light wave length in the wavelength on which laser actuation was meant. This AlGaAs layer with a high aluminum content contains aluminum about 86%. The aluminum content of an AlGaAs layer with a high aluminum content is not so high as it oxidizes simply, although it is high enough for offering a low refractive index. The AlGaAs layer with a low aluminum content has about 16% of aluminum content. Generally the component of an AlGaAs layer with a low aluminum content contains the aluminum of as sufficient amount as it is unabsorbent on the raising wavelength.

[0015] With the gestalt of this operation, since light carries out an outer join through the top face of a semi-conductor sample, in order to make internal reflection high, near of the reflection factor of the lower part DBR104 should be made 100% as much as possible. If the rate of internal reflection is generally high, the threshold current of laser will decrease. It is known well that the reflection factor of the lower part DBR104 is generally the function of the difference of the refractive index of two AlGaAs layers of superlattice and a pair of number of the layers in the structure. If the difference of this refractive index is large, there will be few a pair of numbers required to obtain a given reflection factor, and they will end. Generally 30-40 pairs of AlGaAs layers are used to form the lower DBR structure 104.

[0016] After adhering the lower DBR structure 104 by epitaxial processing, the AlGaAs ***** layer 106 is adhered. The aluminum content of this lower AlGaAs ***** layer 106 is about 58%, and is n mold of doping level $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ - $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$. The thickness of this layer is about 100nm. On this AlGaAs ***** layer 106, there is a barrier layer 108 of laser structure and these quantum wells are divided by three barrier which has the thickness of 2-8nm including four quantum wells which have the thickness which is 5-10nm. Therefore, quantum well structure is formed in the output wavelength of a request of laser structure using pure GaAs or AlGaAs with a low aluminum content. With the gestalt of this operation, these quantum wells are typically formed of AlGaAs which has about 7% of aluminum content and which is not doped. In this invention, although a barrier layer 108 is formed, the activity of a single quantum well or other two or more quantum well ("MQW") structures is not barred.

[0017] A barrier layer 108 top is the up AlGaAs ***** layer 110, and this ***** layer 110 resembles the lower AlGaAs ***** layer 106 structurally, if the polarity of that dopant is removed. Besides, although the section ***** layer 110 has about 58% of aluminum content, it is p mold which has the doping level of $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ - $4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$. The thickness of the top ***** layer 110 as well as the lower AlGaAs ***** layer 106 is about 100nm. These two AlGaAs ***** layers 106 and 110 form an optical cavity in general with a barrier layer 108, and desired optical gain is acquired in this cavity. The total thickness of layers 106, 108, and 110 is adjusted equally to the integral multiple of the wavelength which laser actuation means.

[0018] The up AlGaAs ***** layer 110 top is an oxidizing zone 112, and it is used for forming laser aperture. This laser aperture controls the flow of a current and, thereby, controls the raising location in a barrier layer 108. With the gestalt of this operation, this oxidizing zone 112 exists on the up AlGaAs ***** layer 110. In this invention, it does not bar transposing this oxidizing zone 112 to other locations (or on [Barrier layer 108 / More] or under). Typically, this oxidizing zone 112 has about 95% of aluminum content, and the thickness of about 70nm. Typically, this oxidizing zone 112 constitutes the first pass of an up DBR mirror, and contains p mold-dopant.

[0019] After an oxidizing zone 112 is formed, the remaining up DBR mirror 114 containing p mold-dopant is adhered. The up DBR mirror 115 resembles the lower DBR mirror 104 structurally, if the polarity of the dopant is removed. Furthermore, generally the mirror layer nearest to each ** of an active region has a high aluminum content. In the gestalt of this operation, this high aluminum content layer is also an oxidizing zone 112. With the gestalt of this operation, since light carries out the outer join of the reflection factor of the upper part DBR114 through the front face of a semi-conductor sample, it is 98% - 99% typically. Generally for besides forming the section DBR mirror 114, 20-25 pairs of mutual AlGaAs layers are used.

[0020] Drawing 4 is some top views of the mask which may be applied to the semi-conductor structure

expressed under this invention to drawing 3 . First, the homogeneity layer of silicon nitride is made to adhere to the whole semi-conductor sample as usual. Next, a photoresist layer 118 is made to adhere on this silicon nitride layer, a photoresist ingredient is removed from four round fields 120, and a mask like drawing 4 is made to form with photolithography. These round fields 120 form the boundary pattern decided beforehand, and it is used for this demarcating the final aperture of laser structure behind. [0021] As expressed to drawing 5 , etching processing is performed to this sample and the cylindrical shape cavity 126 is formed into semi-conductor structure through four exposed round fields 120 which was exposed to etching processing in the meantime. Etching is performed by processing of reactive ion etching etc. and the deep hollow which has a vertical mold side attachment wall is formed. The depth of each cylindrical shape cavity reaches even an oxidizing zone 112 at least (it illustrates to drawing 5). After a cylindrical shape cavity is formed and all the photoresists on a front face are removed, oxidation treatment is performed to this semi-conductor sample. This sample oxidizes in a nitrogen environment using a steam at the elevated temperature exceeding 350-degreeC typically. An oxidizing zone 112 is exposed to a perimeter through each cylindrical shape cavity during this oxidation treatment (an arrow head B illustrates). In this way, generally, the oxidizing zone 112 which consists of AlGaAs with a high aluminum content oxidizes in the radiation direction toward an outside from each cavity 126 until the oxidization field 124 which surround each cavity approaches mutually and overlaps it (it illustrates to drawing 6). However, as long as electric field and the optical field (optical field) are the range restricted moderately, the non-oxidizing gap between oxidation fields may be small. Although the cross section of each cavity has been indicated as what is a cylindrical shape, what kind of suitable cross section may be used.

[0022] Since other layers between oxidation processes and in structure have the low aluminum content, they remain hardly oxidized. In constant temperature, it becomes high in general exponentially while the aluminum content of the oxidation quotient of AlGaAs increases. The time amount of oxidation treatment is decided by the aluminum content and oxidation temperature of an oxidizing zone 112. Desirable controllable oxidation time amount is dozens of minutes. Therefore, the layer which has oxidized is AlGaAs which has an aluminum content near 95%. The part which remains with an AlGaAs layer not oxidized controls the current pass which passes along a barrier layer 108.

[0023] Drawing 6 is the amplification schematic plan view of the oxidizing zone 112 expressed to drawing 3 , and assumes the place which removed all the layers on this layer. The shadowed part 122 expresses the laser aperture in an oxidizing zone 112, and this aperture appoints the field of laser luminescence by the barrier layer 108. This aperture is formed of the oxidation process of this invention. Between oxidation processes, an oxidization front (oxidation front) progresses through an oxidizing zone from the pattern which consists of four cavities 126, and the shadowed part 122 is formed of the intersection of the borderline of the oxidization field 124. It becomes the oxidization field 124 which the oxidization front emitted from the cylindrical shape cavity 126 is also a cylindrical shape mostly, and overlapped it. The center of the overlap field 124 remains not oxidized. This field that does not oxidize forms the shadowed field 122, and this is the aperture of laser structure. An insulating region 130 is formed after an oxidation process using an ion-implantation process (it indicates below), and laser structure is isolated from the thing around it.

[0024] After an oxidation process, a field 124 oxidizes and the part 122 which does not oxidize forms the aperture which controls the current pass which passes along a barrier layer 108. The flow of the current which passes along the part concerned of the barrier layer 108 under aperture 122 becomes p mold and n mold carrier injection concentration (injected density), and light is amplified. When the flow of a current is high enough, laser oscillation and luminescence produce magnification of this light from a barrier layer in the field demarcated by the aperture 122 in an oxidizing zone 112 conjointly with the feedback from the DBR mirrors 104 and 114.

[0025] The insulating region 130 (it illustrates to drawing 6 , drawing 7 , and drawing 8) formed using an ion-implantation insulation (isolation) process has high resistance. The typical impregnation energy used for such a process is 50KeV(s), 100KeV, and 200KeV(s). Generally dosage is $3 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ in each energy level. The ion used for forming an insulating region 402 is hydrogen.

[0026] The metal contacts 132 and 144 for carrying out bias of the laser, respectively are formed in the top face and base of semi-conductor structure after an insulating process (it illustrates to drawing 7, drawing 8, and drawing 9). The typical metal used for forming these contacts is the two-layer film of titanium/gold.

[0027] Drawing 9 expresses the top view of the VCSEL structure formed according to this invention, after forming the top-face contact 132 according to a general metallization process. The sectional view cut off by the line 7-7 of this drawing and 8-8 is expressed to drawing 7 and drawing 8. The top contact 132 is a keyhole mold mostly, and contains the annular part 134 and an extension 136. There is an annular part inside a cavity 126 (inboard), and it has hung on the laser aperture 122. Since this is not transparent, this is annularly made so that the light from laser may be combined through central aperture (since it is nontransparent nature). Width-of-face "W" of the annular part 134 is restricted by the minimum line width of face which can usually be attained under the processing technique used, and, thereby, sets up the minimum of the pitch between adjoining VCSEL structures. Therefore, the typical pitch between the cores of two adjoining VCSEL aperture 122 is "4W." However, since a top-face contact may hang on the laser aperture 122 when using a transparent conductor, the pitch between the adjoining VCSEL structures is further reducible. Therefore, this pitch may be reduced to the order of "2W", as expressed to drawing 10. A typical conductor is indium oxide tin and this may be made to adhere according to a sputtering process. The gestalt of other operations of a top-face contact is expressed to drawing 10, and is expressed with the number 138. The contact finger 140 has hung on the laser aperture 122 including the conductive contact finger 140 where this is transparent, and the contact pad 142. After forming electric contact on a top face, a metal is made to adhere to the base of a substrate 100, and the bottom product electrode 144 is formed.

[0028] Drawing 16, drawing 17, and drawing 18 express other pack (mounting) arrays for forming the laser array formed by the approach of this invention to drawing 11, drawing 12 and drawing 13, drawing 14 and drawing 15, and a list. In the array of such equipment expressed to the laser equipment and drawing 12 R> 2 of drawing 11, these oxidation fields 224 have surrounded the boundary pattern of three cylindrical shape cavities 226 located at the top-most vertices of an equilateral triangle including the aperture 222 by which each laser structure was demarcated by the oxidation field 224. All the tooth spaces between the cores of two cavities are "S." As stated previously, the embedded AlGaAs layer with a high aluminum content oxidizes in the radiation direction toward an outside between oxidation processes from the cylindrical shape cavity 226 until the laser aperture 222 to which the oxidation field 224 overlaps and has not oxidized is formed. The pack array expressed to drawing 11 can be repeated, and a laser array which was expressed to drawing 12 can be formed. When spacing between the cores of two cylindrical shape cavities is set to "S", typical straight-line spacing between two laser aperture (linear spacing, component distance of the direction where the array of drawing 12 extends) is abbreviation "S/2."

[0029] In the array of the laser equipment of drawing 13, drawing 14, and drawing 15, the square boundary pattern which consists of a cylindrical shape cavity 126 is expressed. The oxidation field 124 is overlapped and forms the laser aperture 122 which has not oxidized. A laser array which repeated the pack array expressed to drawing 13, and was expressed to drawing 14 and drawing 15 can be formed. When using a pack array like drawing 14 and spacing between the cores of two adjoining cylindrical shape cavities is set to "S", typical straight-line spacing "L" between two laser aperture is "S" mostly. When using an array like drawing 15 and spacing between the cores of two adjoining cylindrical shape hollows is set to "S", typical straight-line spacing "L" between two laser aperture is [Equation 1] generally.

$$\sqrt{2} \times S.$$

It comes out.

[0030] The boundary pattern of the hexagon which consists of a cylindrical shape cavity is expressed with the array of the laser equipment of drawing 16, drawing 17, and drawing 18. The cavity 326 of arrange [you / at the top-most vertices of other polygons] is clear. As stated even in the place of the

gestalt of operation of point **, laser aperture is formed of the field 322 which was demarcated by the field 324 which oxidized and which has not oxidized. A laser array which repeated the pack array expressed to drawing 16, and was expressed to drawing 17 and drawing 18 may be formed. When using an array like drawing 17 and spacing between the cores of two adjoining cylindrical shape cavities is set to "S", typical straight-line spacing "L" between two laser aperture is "1.5S" mostly. When using an array like drawing 18, typical straight-line spacing "L" between two laser aperture is [Equation 2] generally.
" $\sqrt{3} \times 0.5S$ ".

It comes out.

[0031] And they may change various these parameters. [the constituent mentioned previously, dopant, doping level, and a dimension] [instantiation] Furthermore, other layers may be added to the layer with which it expressed to drawing. Experiment conditions, such as temperature and time amount, may be changed. the last -- instead of [of GaAs and GaAlAs] -- the [GaAlSb, InAlGaP, or / other] -- III-V Other semiconductor materials, such as a group alloy, may be used.

[Translation done.]

This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record.

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPIC)